




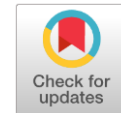
Transformasi Digital berbasis *Smart Port Revolution* di Pelabuhan Tanjung Emas: Optimalisasi Logistik melalui *Terminal Booking System*

M. Daffa Fahada Lubis 

Politeknik Keuangan Negara STAN, Tangerang Selatan, Indonesia

Corresponding Email: daffafahada29@gmail.com

Received: 1st November 2025; Last Revised: 3rd January 2026;
Accepted: 9th January 2026; Available Online: 25th January 2026




Abstract

This study examines the impact of the Terminal Booking System (TBS) implementation as part of the digital transformation at Tanjung Emas Port in Semarang, focusing on optimizing logistics efficiency. The main issues raised are high dwelling time, inefficiency of conventional logistics systems, and the lack of integration of the port's digital infrastructure, which leads to high logistics costs and a decline in regional export-import competitiveness. This study applies an explanatory quantitative method with an annual time series from 2014–2024. The analysis was conducted using multiple linear regression, moderated regression analysis (MRA), and the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model to examine the dynamics of long-term and short-term relationships between variables. The results show that the implementation of TBS significantly improves logistics efficiency, reflected in the increase in the Logistics Performance Index. However, dwelling time is not proven to be a significant moderator in strengthening the influence of TBS on logistics efficiency. Policy recommendations include accelerating the integration of TBS into the entire port system, developing a single-window-based integrated logistics platform, and implementing automation technology. Research confirms that successful digital transformation requires policy synergy, infrastructure investment, and strengthened cross-agency coordination to create Tanjung Emas Port in Semarang as a smart port that is efficient and highly competitive at the national level.

Keywords: *Dwelling Time, Logistics Efficiency, Smart Port, and Terminal Booking System*

JEL Classification: *L91, O33, and R41*

 <https://doi.org/10.14710/jdep.8.0.255-277>



This is an open-access article under
the CC BY-SA 4.0 license

Copyright © 2025 by Authors, Published by Faculty of Economics and Business, Universitas Diponegoro

Pendahuluan

Logistik merupakan fondasi utama bagi stabilitas dan pertumbuhan ekonomi nasional. Di Indonesia, efisiensi logistik sangat berperan dalam menurunkan biaya distribusi, mempercepat arus barang, dan meningkatkan daya saing ekspor nasional (Christopher, 2011). Sebagai negara kepulauan dengan lebih dari 17.000 pulau, tantangan dalam mengintegrasikan rantai pasok antarwilayah sangat besar. Laporan Logistics Performance Index oleh World Bank (2018) menunjukkan bahwa Indonesia menempati peringkat ke-46 dari 160 negara, dengan skor efisiensi logistik 3,15, masih tertinggal dari Singapura (4,00), Malaysia (3,22), dan Thailand (3,41). Selain itu, total biaya logistik Indonesia diperkirakan mencapai 23–25% dari PDB (Kementerian Perhubungan, 2022), jauh lebih tinggi dibandingkan rata-rata global sebesar 13–15% (UNCTAD, 2023). Tingginya biaya ini sebagian besar disebabkan oleh inefisiensi di sektor transportasi dan pelabuhan, termasuk waktu tunggu, kepadatan kontainer, dan ketidakpastian jadwal distribusi.

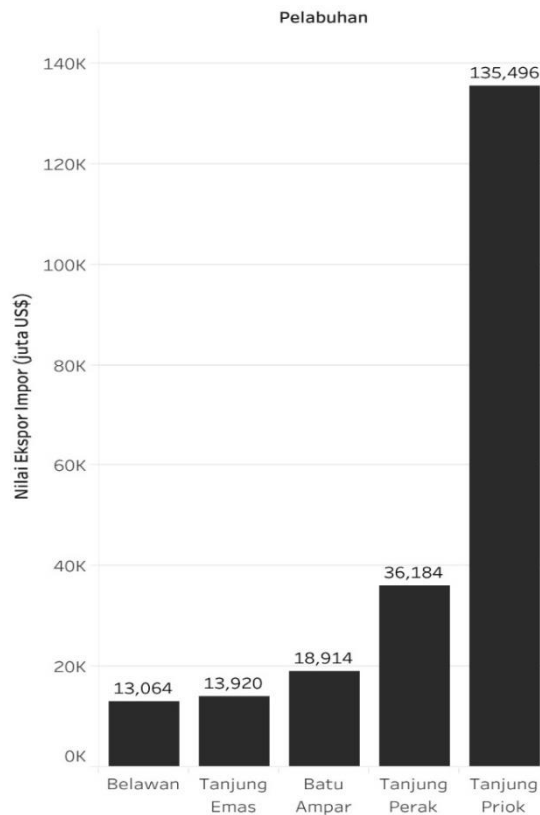
Pelabuhan sebagai simpul utama dalam sistem logistik nasional memiliki kontribusi besar terhadap efisiensi tersebut. Pelabuhan yang efisien ditandai dengan waktu bongkar muat yang cepat, sistem dokumentasi yang terintegrasi, serta rendahnya *dwelling time*. Menurut World Bank (2018), rata-rata *dwelling time* ideal berada di kisaran 1–2 hari. Namun di Indonesia, angka *dwelling time* masih berkisar antara 3 hingga 4,9 hari di berbagai pelabuhan utama (Kementerian Perhubungan, 2022). Ketika *dwelling time* tinggi, maka terjadi pemborosan sumber daya dan kemunduran dalam arus perdagangan.

Secara khusus, Pelabuhan Tanjung Emas Semarang sebagai pelabuhan utama di Jawa Tengah memiliki posisi strategis dalam mendukung distribusi regional dan ekspor nasional, khususnya produk manufaktur dan komoditas pertanian. Namun demikian, pelabuhan ini masih menghadapi sejumlah tantangan terkait efisiensi logistik. Studi oleh Syafrizal, Nurillah, dan Sari (2021) menunjukkan bahwa Pelabuhan Tanjung Emas memiliki rata-rata container dwell time mencapai 4,3 hari, lebih tinggi dibandingkan target nasional sebesar 2,5 hari. Selain itu, keterbatasan infrastruktur digital dan belum optimalnya sistem manajemen arus truk serta kontainer mengakibatkan terjadinya penumpukan dan keterlambatan distribusi barang. Implementasi teknologi digital seperti Terminal Booking System (TBS) masih terbatas, sehingga pelabuhan ini belum dapat mengimbangi efisiensi pelabuhan modern lainnya seperti Tanjung Priok atau Pelabuhan Patimban (Notteboom & Rodrigue, 2020).

Gambar 1 menunjukkan bahwa Pelabuhan Tanjung Emas Semarang mencatat nilai ekspor-impor sebesar 13.920 juta US\$. Nilai ini tergolong rendah jika dibandingkan dengan pelabuhan-pelabuhan utama lainnya yang mengindikasikan bahwa meskipun Tanjung Emas berperan dalam aktivitas perdagangan internasional, kontribusinya masih

relatif kecil dibanding pelabuhan besar lainnya di Indonesia.

Perkembangan teknologi informasi telah mendorong terjadinya transformasi besar dalam sektor logistik dan kepelabuhanan global. Salah satu bentuk transformasi tersebut adalah pengembangan pelabuhan berbasis digital atau dikenal dengan istilah *smart port*. Konsep *smart port* mengacu pada integrasi teknologi seperti Internet of Things (IoT), big data analytics, artificial intelligence (AI), dan otomasi sistem pelabuhan guna meningkatkan efisiensi operasional, transparansi layanan, serta keberlanjutan lingkungan (Notteboom & Rodrigue, 2020). Pelabuhan modern tidak lagi bergantung pada tenaga kerja manual dan sistem konvensional, melainkan mengandalkan jaringan digital untuk memantau, mengendalikan, dan mengoptimalkan arus barang secara real-time.



Gambar 1. Nilai Ekspor & Impor Pelabuhan Besar di Indonesia Tahun 2023
Sumber: Kemendag RI, diolah (2023)

Penerapan *smart port* telah terbukti meningkatkan efisiensi di sejumlah pelabuhan utama dunia. Misalnya, Pelabuhan Rotterdam di Belanda mencatatkan peningkatan throughput tahunan hingga 469 juta ton pada tahun 2022 setelah mengintegrasikan teknologi otomasi penuh dan sistem prediksi berbasis AI (Port of Rotterdam Authority, 2023). Pelabuhan Singapura juga berhasil menurunkan waktu bongkar muat kapal kontainer menjadi hanya 1,5 jam per kapal berkat penggunaan *automated guided vehicles (AGV)* dan sistem penjadwalan digital (*Terminal Operating System*) (Lam & Notteboom, 2014). Selain itu, sistem *Vehicle Booking System* di Pelabuhan Hamburg mampu

mengurangi antrian truk hingga 40%, serta menurunkan emisi karbon dari kendaraan logistik (Pan, Ballot, & Fontane, 2019).

Transformasi ini bukan hanya meningkatkan kinerja logistik, tetapi juga memperkuat posisi pelabuhan dalam rantai pasok global. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD, 2023) menyatakan bahwa pelabuhan yang menerapkan sistem digital secara penuh mengalami peningkatan efisiensi hingga 30% dibanding pelabuhan konvensional. Hal ini sejalan dengan tuntutan perdagangan internasional yang menekankan kecepatan, keandalan, dan visibilitas logistik.

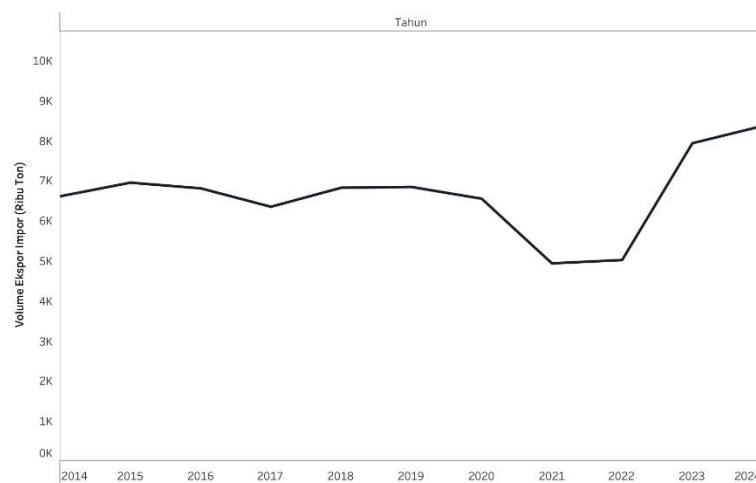
Namun, implementasi konsep *smart port* di Indonesia masih tergolong awal dan belum merata. Kementerian Perhubungan (2022) mencatat bahwa dari 111 pelabuhan komersial nasional, hanya sekitar 15% yang telah mulai mengadopsi sistem digital dalam operasionalnya, dan sebagian besar masih dalam tahap uji coba atau parsial. Pelabuhan Tanjung Emas Semarang menjadi salah satu pelabuhan yang mulai diarahkan untuk masuk dalam kerangka digitalisasi menuju *smart port*, namun penerapannya masih terbatas. Sistem *Terminal Booking System* (TBS), misalnya, baru mulai diujicobakan setelah tahun 2022 dan belum sepenuhnya terintegrasi dengan manajemen truk dan kontainer secara menyeluruh. Padahal, digitalisasi semacam ini berpotensi menurunkan *dwelling time*, menghindari antrian kendaraan, serta menekan biaya logistik yang selama ini menjadi hambatan utama dalam arus distribusi barang.

Terminal Booking System (TBS) merupakan salah satu inovasi digital yang dirancang untuk mengatur jadwal kedatangan dan keberangkatan truk ke terminal pelabuhan secara terencana. Penerapan TBS memungkinkan perusahaan logistik melakukan pemesanan slot waktu secara daring, sehingga distribusi barang menjadi lebih terkoordinasi. Namun di Indonesia, pemanfaatan TBS masih terbatas. Menurut Kementerian Perhubungan (2022), baru sekitar 10–12 pelabuhan yang mengadopsi sistem ini secara parsial, dan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang baru mulai mengimplementasikannya sejak tahun 2022 secara bertahap. Meski demikian, efektivitasnya masih dipengaruhi oleh koordinasi antarpemangku kepentingan dan kesiapan infrastruktur digital. Jika diterapkan secara konsisten, TBS berpotensi memangkas *dwelling time* rata-rata di Tanjung Emas dari 4,3 hari menjadi mendekati target nasional 2,5 hari (Syafrizal et al., 2021).

Selain itu, berdasarkan laporan *Indonesia National Single Window Agency* (2021), sekitar 68% dokumen kepelabuhanan di Tanjung Emas masih diproses semi-manual, yang menyebabkan keterlambatan proses administrasi dan ketidakterpaduan data antara operator pelabuhan, bea cukai, dan pengguna jasa. Ketidakhadiran sistem pemesanan kendaraan secara digital juga menyebabkan antrean truk di pelabuhan bisa mencapai 2–3 jam per kendaraan pada jam-jam sibuk (Pelindo III, 2020), yang berdampak langsung pada meningkatnya emisi dan biaya operasional logistik. Laporan dari *JICA* (Japan International Cooperation Agency, 2020) juga menunjukkan bahwa kapasitas infrastruktur jalan menuju pelabuhan ini belum sepenuhnya mendukung pertumbuhan volume kontainer, yang pada 2023 tercatat mencapai 195.000 TEUs, naik hampir 40% dibandingkan 2019. Keterbatasan aksesibilitas dan sistem logistik non-terintegrasi menjadi hambatan utama dalam modernisasi pelabuhan ini.

Efisiensi logistik pelabuhan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor internal operasional, tetapi juga oleh dinamika makroekonomi regional. Variabel seperti inflasi,

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), dan Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB) memiliki peran penting dalam menentukan kualitas dan kapasitas sistem logistik suatu wilayah. Menurut OECD (2021), peningkatan investasi fisik seperti PMTB secara signifikan berkontribusi pada kelancaran distribusi barang melalui infrastruktur pelabuhan dan transportasi. Data dari BPS (2023) menunjukkan bahwa inflasi Jawa Tengah tahun 2022 mencapai 6,4%, tertinggi dalam lima tahun terakhir, yang secara langsung mendorong kenaikan biaya logistik dan distribusi. Di sisi lain, PDRB Jawa Tengah meningkat dari Rp 1.463 triliun pada 2021 menjadi Rp 1.561 triliun pada 2023, mencerminkan pertumbuhan aktivitas ekonomi dan meningkatnya kebutuhan sistem logistik yang efisien (BPS Jateng, 2023). Namun, jika pertumbuhan ekonomi tidak diimbangi dengan peningkatan efisiensi logistik, maka potensi gangguan arus barang dan biaya distribusi tinggi tidak dapat dihindari. Dengan demikian, variabel makroekonomi seperti inflasi, PDRB, dan PMTB memiliki peran struktural dalam memengaruhi efisiensi logistik pelabuhan karena menentukan daya beli, kapasitas investasi, dan permintaan jasa logistik regional. Oleh karena itu, variabel makroekonomi diposisikan sebagai bagian integral dari penelitian ini.



Gambar 2. Volume Ekspor Impor Pelabuhan Tanjung Emas
Sumber: BPS, diolah (2024)

Meskipun transformasi digital pelabuhan telah menjadi agenda nasional, masih terdapat kesenjangan dalam kajian akademik yang mengkaji pengaruh langsung digitalisasi terhadap efisiensi logistik di pelabuhan regional seperti Tanjung Emas. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada pelabuhan utama seperti Tanjung Priok dan Belawan, sementara studi kuantitatif berbasis data time series di pelabuhan menengah masih terbatas (Yeo, Roe, & Dinwoodie, 2008). Selain itu, belum banyak penelitian yang menguji *dwelling time* sebagai variabel moderasi yang memperkuat atau memperlemah pengaruh digitalisasi seperti Terminal Booking System (TBS) terhadap kinerja ekspor-impor. Dalam konteks Pelabuhan Tanjung Emas, di mana implementasi TBS dimulai sejak 2022, dibutuhkan analisis longitudinal yang mengukur dampak jangka pendek dan panjang melalui pendekatan statistik seperti *Auto-Regressive Distributed Lag* (ARDL).

Studi ini penting untuk mengisi kekosongan literatur dan memberikan rekomendasi berbasis bukti terhadap strategi peningkatan efisiensi logistik berbasis teknologi.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara empiris pengaruh implementasi *Terminal Booking System* (TBS) sebagai bagian dari transformasi digital pelabuhan dan intensitas bongkar muat terhadap efisiensi logistik di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Efisiensi logistik dalam konteks ini diukur melalui kinerja ekspor-impor (FOB/CIF) sebagai representasi arus barang bernilai ekonomi.

Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji peran *dwelling time* sebagai variabel moderasi, guna melihat apakah efisiensi logistik dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi operasional pelabuhan yang ada. Dengan mempertimbangkan variabel makroekonomi seperti inflasi, PDRB, dan PMTB sebagai variabel kontrol, studi ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif tentang efektivitas digitalisasi logistik dalam konteks pelabuhan regional. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada literatur akademik dan menjadi dasar pertimbangan bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi peningkatan efisiensi logistik berbasis digital di Jawa Tengah, khususnya di Pelabuhan Tanjung Emas di Semarang.

Tinjauan Pustaka

Konsep Dasar Efisiensi Logistik

Efisiensi logistik menggambarkan kemampuan suatu sistem distribusi barang dalam meminimalkan biaya, waktu, dan sumber daya guna mencapai pengiriman yang optimal. Dalam konteks pelabuhan, efisiensi ini ditunjukkan melalui indikator seperti throughput kontainer, waktu bongkar muat, biaya logistik per unit, dan *dwelling time*, yaitu lama waktu barang berada di pelabuhan sebelum keluar dari terminal (World Bank, 2018). Walaupun begitu, efisiensi logistik tidak hanya dimaknai sebagai penurunan biaya, tetapi juga sebagai kemampuan sistem logistik dalam mengoptimalkan trade-off antara waktu, biaya, dan keandalan layanan. Dalam perspektif ekonomi kelembagaan, efisiensi logistik mencerminkan rendahnya *transaction cost* yang timbul dari koordinasi, informasi, dan birokrasi (UNCTAD, 2023).

Menurut UNCTAD (2023), efisiensi pelabuhan menjadi penentu utama dalam menurunkan total biaya logistik nasional dan meningkatkan daya saing ekspor. Semakin efisien arus barang di pelabuhan, maka semakin cepat proses distribusi dan semakin rendah potensi kemacetan atau penumpukan kontainer. Selain itu, CSCMP (2021) menekankan bahwa efisiensi logistik tidak hanya berdampak pada aspek ekonomi, tetapi juga lingkungan, karena proses yang lebih terkoordinasi dapat menurunkan konsumsi energi dan emisi karbon.

Transformasi Digital dalam Pelabuhan (Smart Port)

Smart port merupakan proses integrasi teknologi informasi dan otomatisasi dalam sistem operasional pelabuhan untuk meningkatkan efisiensi, transparansi, dan keberlanjutan logistik. *Smart port* menggabungkan berbagai elemen seperti Internet of Things (IoT), big data, sistem pemesanan digital, serta kendaraan otomatis untuk mendukung pengambilan keputusan secara real-time dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual

(Notteboom & Rodrigue, 2020). Dalam konteks global, penerapan *smart port* terbukti berhasil meningkatkan produktivitas dan mengurangi kemacetan di pelabuhan-pelabuhan besar seperti Rotterdam, Long Beach, dan Hamburg (Lam & Notteboom, 2014). Pelabuhan dengan sistem digital terintegrasi mampu memantau arus kontainer, menjadwalkan kedatangan truk, serta mengelola operasi bongkar muat secara otomatis dan efisien.

UNCTAD (2023) mencatat bahwa *smart port* tidak hanya berdampak pada efisiensi operasional, tetapi juga memperkuat daya saing pelabuhan dalam rantai pasok global. Dengan adanya digitalisasi, pelabuhan dapat lebih responsif terhadap dinamika pasar serta mendukung logistik berkelanjutan melalui pengurangan waktu tunggu dan emisi kendaraan.

Namun, di Indonesia, implementasi *smart port* masih menghadapi tantangan seperti keterbatasan infrastruktur digital, kebutuhan investasi yang tinggi, serta perlunya pelatihan bagi tenaga kerja (Kementerian Perhubungan, 2022). Oleh karena itu, transformasi digital pelabuhan seperti di Tanjung Emas menjadi penting sebagai langkah awal menuju modernisasi sistem logistik nasional yang terintegrasi dan berdaya saing tinggi.

Terminal Booking System (TBS)

Terminal Booking System (TBS) merupakan inovasi digital yang berfungsi untuk menjadwalkan kedatangan dan keberangkatan truk secara terkoordinasi guna mengoptimalkan arus logistik pelabuhan. Sistem ini bertujuan meningkatkan efisiensi operasional melalui pengaturan slot waktu kedatangan yang disesuaikan dengan kapasitas terminal, sehingga dapat mengurangi kemacetan dan waktu tunggu (Lam & Notteboom, 2014). Penerapan TBS di pelabuhan utama dunia seperti Hamburg dan Singapura terbukti mampu menurunkan *dwelling time* serta meningkatkan keandalan distribusi barang melalui pendekatan *appointment-based logistics* (Rodrigue & Notteboom, 2015). Selain itu, sistem ini berkontribusi terhadap efisiensi energi dan pengurangan emisi karena truk tidak perlu menunggu dalam kondisi mesin aktif, sehingga mendukung prinsip logistik berkelanjutan (Pan, Ballot, & Fontane, 2019).

Dwelling Time sebagai Faktor Pendukung

Dwelling time mengacu pada lama waktu suatu kontainer atau barang berada di pelabuhan sebelum diangkut keluar terminal. Indikator ini banyak digunakan sebagai ukuran efisiensi logistik pelabuhan karena semakin lama *dwelling time*, semakin besar biaya logistik yang ditanggung pengguna jasa, serta semakin rendah kinerja distribusi barang secara keseluruhan (World Bank, 2018). Dalam konteks sistem pelabuhan modern, *dwelling time* tidak hanya dipandang sebagai indikator kinerja, tetapi juga sebagai faktor yang dapat memengaruhi efektivitas teknologi digital Terminal Booking System (TBS). Menurut penelitian oleh UNCTAD (2023), *dwelling time* dapat memperkuat atau justru melemahkan pengaruh teknologi terhadap efisiensi logistik, tergantung pada bagaimana sistem operasional pelabuhan dikelola secara menyeluruh.

Dwelling time dapat menjelaskan mengapa teknologi yang sama menghasilkan hasil

yang berbeda dalam konteks yang berbeda. Misalnya, dalam studi empiris oleh Pan et al. (2019), penerapan TBS di pelabuhan dengan *dwelling time* yang rendah memberikan dampak efisiensi lebih besar dibandingkan pelabuhan dengan *dwelling time* tinggi, karena kemacetan dan ketidakseimbangan kapasitas masih menghambat proses distribusi meskipun sistem TBS telah diterapkan. Lebih lanjut, *dwelling time* sering kali dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kepadatan kontainer, sistem dokumentasi, koordinasi antarpemangku kepentingan, serta infrastruktur pendukung pelabuhan (Kementerian Perhubungan, 2022).

Skala Efektivitas Pelabuhan

Skala efektivitas pelabuhan menunjukkan sejauh mana pelabuhan mampu memberikan layanan logistik secara optimal, baik dari sisi waktu, biaya, maupun kapasitas penanganan barang. Efektivitas pelabuhan mencerminkan kinerja operasional dalam menangani kapal dan kontainer, serta kualitas koordinasi antar aktor logistik di dalam pelabuhan, seperti operator terminal, otoritas pelabuhan, dan jasa truk (Acciaro et al., 2014).

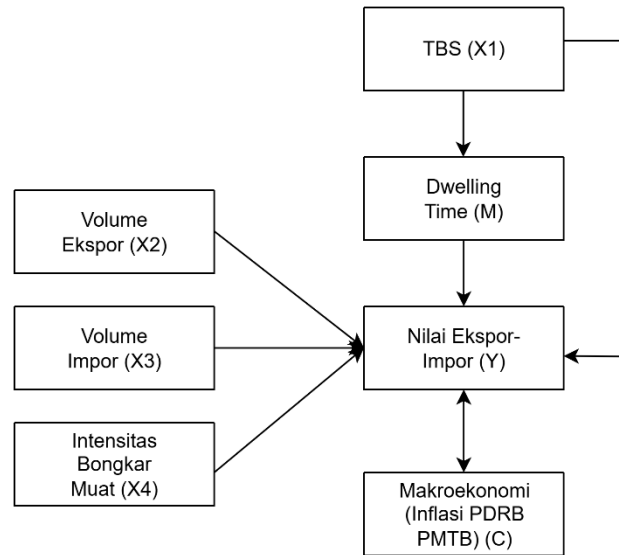
Secara umum, efektivitas pelabuhan diukur menggunakan indikator seperti berth throughput, ship turnaround time, truck turnaround time, dan container dwell time. Menurut Woo, Pettit, dan Beresford (2011), pengukuran efektivitas juga harus mempertimbangkan flexibility, service reliability, dan availability of infrastructure. Artinya, pelabuhan tidak hanya dinilai dari kecepatan operasional, tetapi juga dari kemampuannya menangani fluktuasi permintaan dan menjaga konsistensi layanan. Penelitian oleh Yeo, Roe, dan Dinwoodie (2008) menunjukkan bahwa efektivitas pelabuhan sangat dipengaruhi oleh penggunaan teknologi informasi dan strategi manajemen yang proaktif. Sistem berbasis digital seperti Terminal Operating System (TOS), Vehicle Booking System (VBS), dan Automated Guided Vehicles (AGV) dinilai mampu meningkatkan koordinasi antar proses dan mengurangi keterlambatan logistik yang sering terjadi di pelabuhan konvensional.

Sementara itu, penelitian regional oleh Tiwari, Hui, dan Chung (2003) menemukan bahwa pelabuhan yang menerapkan strategi digitalisasi dan investasi infrastruktur cenderung memiliki performa yang lebih stabil dan efisien, khususnya dalam konteks pelabuhan Asia yang menghadapi tekanan arus perdagangan yang tinggi. Oleh karena itu, efektivitas pelabuhan tidak bisa dilepaskan dari upaya modernisasi sistem dan peningkatan integrasi logistik. Dalam konteks Indonesia, efektivitas pelabuhan seperti Tanjung Emas menjadi indikator penting keberhasilan transformasi digital di sektor logistik. Dengan meningkatnya volume perdagangan dan kompleksitas distribusi barang, efektivitas pelabuhan menjadi faktor kunci dalam mendukung pertumbuhan ekonomi daerah dan nasional secara berkelanjutan (Syafri et al., 2021).

Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual pada Gambar 3 menunjukkan bagaimana kebijakan logistik nasional (TBS) memengaruhi nilai ekspor-impor Indonesia secara langsung maupun tidak langsung melalui efisiensi pelabuhan (*dwelling time*). Nilai ekspor-impor juga dipengaruhi oleh volume ekspor, volume impor, dan intensitas bongkar muat sebagai

indikator aktivitas pelabuhan. Selain itu, faktor-faktor makroekonomi seperti inflasi, PDRB, dan PMTB turut berperan sebagai variabel kontrol yang memengaruhi kinerja perdagangan secara keseluruhan.



Gambar 3. Kerangka Konseptual
Sumber: Diolah oleh Penulis (2025)

Tabel 1. Hipotesis Penelitian

Hipotesis	Perumusan
Hipotesis 1	Implementasi TBS berpengaruh signifikan terhadap nilai ekspor-impor
Hipotesis 2	Volume ekspor, volume impor, dan intensitas bongkar muat berpengaruh signifikan terhadap nilai ekspor
Hipotesis 3	<i>Dwelling time</i> berpengaruh signifikan terhadap nilai ekspor-impor
Hipotesis 4	<i>Dwelling time</i> memoderasi pengaruh TBS terhadap nilai ekspor-impor
Hipotesis 5	Variabel kontrol (makroekonomi) berpengaruh signifikan terhadap nilai ekspor-impor

Sumber: Data diolah (2025)

Selain menguji kelima hipotesis (lihat Tabel 1), penelitian ini juga mengkaji hubungan jangka pendek dan jangka panjang antara implementasi TBS terhadap nilai ekspor-impor menggunakan model ARDL (Autoregressive Distributed Lag). Pendekatan ini memungkinkan analisis yang komprehensif atas dinamika hubungan antar variabel dalam dua horizon waktu, serta mengidentifikasi proses penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang.

Metodologi Penelitian

Jenis dan Pendekatan Penelitian

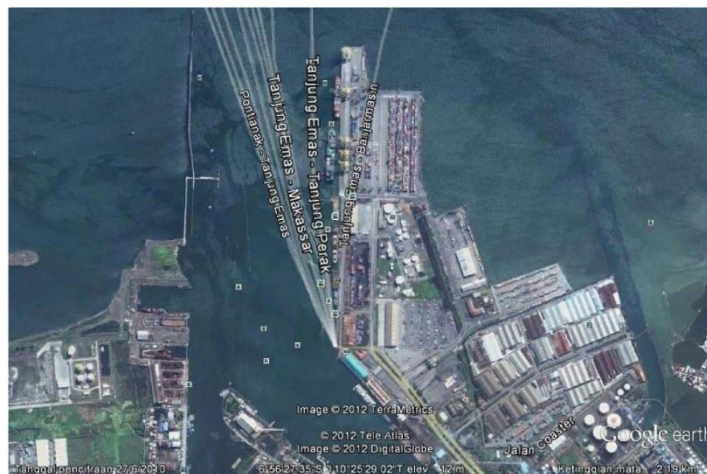
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori dengan desain kausal, yang bertujuan menganalisis hubungan sebab-akibat antara implementasi sistem digital pelabuhan dan faktor ekonomi terhadap efisiensi logistik. Objek penelitian difokuskan

pada Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dengan data tahunan periode 2014–2024. Variabel utama berupa Terminal Booking System (TBS) direpresentasikan sebagai variabel *dummy* (0 sebelum, 1 sesudah implementasi). Variabel independen meliputi volume ekspor, volume impor, dan intensitas bongkar muat, sedangkan *dwelling time* digunakan sebagai variabel moderasi untuk menilai peran waktu tunggu terhadap efektivitas TBS. Variabel dependen adalah nilai ekspor-impor (FOB/CIF) yang mencerminkan efisiensi logistik pelabuhan. Untuk menjaga ketepatan model, disertakan variabel kontrol inflasi, PDRB, dan PMTB sebagai representasi kondisi makroekonomi regional. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan analisis empiris yang komprehensif terhadap efektivitas transformasi digital pelabuhan dalam meningkatkan efisiensi logistik.

Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pelabuhan Tanjung Emas, yang merupakan pelabuhan utama di Jawa Tengah dan memiliki peran vital dalam perdagangan domestik maupun internasional.

Objek penelitian adalah seluruh data aktivitas logistik pelabuhan dan indikator makroekonomi Jawa Tengah yang berkaitan dengan efisiensi distribusi barang melalui laut. Fokus utama diarahkan pada tahun-tahun sebelum dan sesudah pelaksanaan sistem TBS, serta tren ekspor-impor yang terekam dalam data statistik tahunan pelabuhan dan instansi terkait.



Gambar 4. Lokasi Objek Penelitian
Sumber: Google Earth

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh aktivitas logistik pelabuhan dan indikator ekonomi makro regional selama periode 2014 hingga 2024. Periode ini dipilih karena mencerminkan rentang waktu yang cukup untuk menangkap perubahan sebelum dan sesudah penerapan sistem digital pelabuhan (TBS). Pengambilan sampel dilakukan secara

purposive, yakni berdasarkan pertimbangan ketersediaan data dan relevansi terhadap fokus penelitian. Unit analisis adalah tahun, sehingga jumlah observasi dalam penelitian ini sebanyak 11 titik waktu ($n = 11$ tahun).

Operasionalisasi Variabel

Tabel 2. Variabel Penelitian

Variabel	Satuan	Skala	Sumber
<i>Variabel Dependen</i>			
Indeks Kinerja Logistik	Persentase	Rasio	Perhitungan Peneliti
<i>Variable Independen</i>			
TBS (Terminal Booking System)	Dummy; 0 = sebelum, 1 = sesudah	Nominal	Laporan Pelabuhan, Bea Cukai
Volume Ekspor	Ton	Rasio	BPS
Volume Impor	Ton	Rasio	BPS
Intensitas Bongkar Muat	Box	Rasio	Laporan Pelabuhan
<i>Variabel Kontrol</i>			
Inflasi	Persentase	Rasio	BPS
PDRB	Miliar rupiah	Rasio	BPS
PMTB	Miliar rupiah	Rasio	BPS
<i>Variabel Moderasi</i>			
Dwelling Time	Hari	Rasio	Pelindo

Sumber: Data diolah (2025)

Tabel 3. Indikator Pembentuk Indeks Kinerja Logistik

Variabel	Satuan	Skala	Sumber
Nilai Eksor	US Dolar	Rasio	BPS
Nilai Impor	US Dolar	Rasio	BPS
FOB	US Dolar	Rasio	BPS
CIF	US Dolar	Rasio	BPS

Sumber: Data diolah (2025)

Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya bersifat sekunder, diperoleh dari lembaga-lembaga resmi seperti Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Tengah, Pelindo, dan Direktorat Jenderal Bea Cukai. Data *dwelling time*, serta volume bongkar muat diperoleh dari laporan tahunan dan sistem monitoring pelabuhan. Adapun data terkait inflasi, PDRB, nilai ekspor-impor, volume ekspor dan impor, diakses dari publikasi tahunan BPS Jawa Tengah. Variabel dummy TBS ditentukan berdasarkan informasi kebijakan dan implementasi sistem yang tercatat sejak tahun 2022 sebagai titik awal.

Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, variabel dependen yang merepresentasikan kinerja logistik pelabuhan dibentuk melalui integrasi empat indikator utama aktivitas perdagangan internasional, yaitu nilai Free on Board (FOB), Cost, Insurance, and Freight (CIF), nilai ekspor (NE), dan nilai impor (NI). Keempat indikator tersebut dianggap mewakili volume dan nilai arus barang yang ditangani pelabuhan, baik dari sisi pengiriman maupun

penerimaan barang. Untuk menyusun variabel komposit dari keempat indikator tersebut, digunakan pendekatan Z-Score Standardization, yang merupakan metode normalisasi statistik untuk menyetarakan skala antar variabel. Z-score dihitung dengan rumus:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Melalui proses ini, seluruh variabel diubah ke dalam skala standar dengan rata-rata nol dan deviasi standar satu, sehingga memungkinkan perbandingan antar variabel tanpa bias skala unit. Setelah semua indikator dinormalisasi, dilakukan proses penggabungan menggunakan metode Principal Component Analysis (PCA) secara manual, yaitu dengan menghitung rata-rata dari seluruh skor standar (z-score) yang telah diperoleh. Komponen utama pertama (PC1) hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai Indeks Kinerja Logistik Ekspor-Impor, yang kemudian dijadikan sebagai variabel dependen dalam analisis regresi.

Pengolahan data dilakukan secara kuantitatif melalui tahapan analisis statistik deskriptif, uji asumsi klasik, serta regresi linier berganda yang dilengkapi dengan analisis moderasi. Tahap pertama adalah statistik deskriptif, yang digunakan untuk menggambarkan kecenderungan nilai-nilai variabel, seperti rata-rata, simpangan baku, nilai minimum dan maksimum. Analisis ini memberikan pemahaman awal terhadap pola umum data yang digunakan. Selanjutnya dilakukan uji asumsi klasik untuk memastikan validitas model regresi. Pengujian mencakup uji normalitas residual, uji multikolinearitas antar variabel independen, dan uji heteroskedastisitas terhadap residual. Uji ini penting untuk menjaga keakuratan interpretasi model. Setelah asumsi terpenuhi, dilanjutkan dengan regresi linier berganda untuk mengukur pengaruh simultan dari dummy TBS, volume ekspor, volume impor, intensitas bongkar muat, serta variabel kontrol terhadap indeks kinerja logistik. Dalam hal ini, peneliti menetapkan alpha sebesar 0,05.

$$IKL_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot TBS_t + \beta_2 \cdot VE_t + \beta_3 \cdot VI_t + \beta_4 \cdot IBM_t + \beta_5 \cdot INF_t + \beta_6 \cdot PDRB_t + \beta_7 \cdot PTMB_t \quad (2)$$

Dalam model ini, IKL adalah *Indeks Kinerja Logistik*, yaitu variabel dependen yang mencerminkan efisiensi dan efektivitas sistem logistik nasional pada suatu tahun ke-i. Indeks ini dibentuk melalui pendekatan statistik berupa standarisasi Z-score dan Principal Component Analysis (PCA), yang menggabungkan informasi dari variabel nilai ekspor, nilai impor, nilai FOB, dan CIF. Tujuan dari pembentukan indeks ini adalah untuk menciptakan ukuran komposit yang merepresentasikan performa logistik pelabuhan secara menyeluruh.

Salah satu variabel independen dalam model ini adalah TBS, singkatan dari Terminal Booking System. Variabel ini berbentuk dummy, dengan nilai 0 untuk periode sebelum TBS diterapkan (tahun 2014–2021), dan 1 untuk tahun setelahnya (2022–2024). TBS merupakan sistem digital untuk menjadwalkan kedatangan truk ke pelabuhan, yang bertujuan mengurangi kepadatan, antrean kendaraan, dan waktu tunggu di pelabuhan. Selain itu, terdapat variabel VE atau Volume Ekspor, yaitu jumlah barang yang diekspor ke luar negeri dalam satu tahun. VI atau Volume Impor adalah jumlah barang yang masuk ke pelabuhan dari luar negeri. Seperti halnya ekspor. IBM atau Indeks Bongkar Muat

digunakan untuk mengukur intensitas aktivitas pelabuhan, khususnya frekuensi atau volume kegiatan bongkar dan muat barang. INF atau Inflasi adalah tingkat kenaikan harga barang dan jasa secara umum dalam satu tahun. Variabel PDRB atau Produk Domestik Regional Bruto menunjukkan total nilai barang dan jasa yang dihasilkan di suatu wilayah. Simbol β_0 dalam persamaan menyatakan konstanta atau intersep dari model regresi, yaitu nilai IKL saat semua variabel independen bernilai nol. Sementara itu, ϵ_t adalah error term, yaitu bagian dari variabilitas IKL yang tidak dapat dijelaskan oleh variabel-variabel yang dimasukkan dalam model.

Pada tahap akhir, dilakukan Moderated Regression Analysis (MRA) untuk menguji apakah *dwelling time* memiliki efek moderasi terhadap hubungan antara TBS dan efisiensi logistik. Dalam pendekatan ini, dibentuk variabel interaksi antara dummy TBS dan *dwelling time*, yang kemudian dimasukkan ke dalam model regresi tahap kedua. Hasil regresi dibandingkan secara hierarkis antara model dasar dan model moderasi. Seluruh pengolahan data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak. Peneliti dalam hal ini menggunakan aplikasi Stata sebagai pendukung analisis regresi multivariat dan pengujian interaksi.

$$IKL_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot TBS_t + \beta_2 \cdot DT_t + \beta_3 \cdot (TBS_t \times DT_t) + \sum \beta_k X_{kt} + \epsilon_t \quad (3)$$

Dwelling Time berkorelasi dengan variable interaksi $TBS_i \times DT_i$ dimana variabel kontrol sebagai X_{ki} . Validitas data dijaga melalui triangulasi antar sumber resmi yang kredibel dan saling melengkapi. Reliabilitas model diperoleh melalui uji asumsi statistik dan pemodelan yang konsisten terhadap tahun-tahun observasi yang terdokumentasi dengan baik.

Peneliti juga memasukkan model yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara implementasi kebijakan digitalisasi logistik pelabuhan dan efisiensi logistik adalah model Auto-Regressive Distributed Lag (ARDL). Model ARDL digunakan karena mampu menangkap dinamika penyesuaian jangka pendek dan jangka panjang secara simultan, terutama ketika dampak kebijakan digital seperti TBS tidak bersifat instan. Selain itu, ARDL sesuai untuk data runtut waktu dengan jumlah observasi terbatas dan integrasi variabel yang beragam. Pemilihan metode ARDL didasarkan pada pertimbangan karakteristik data dan kebutuhan analisis yang spesifik terhadap data runtut waktu tahunan (2014–2024). Model ini digunakan untuk mengetahui bagaimana implementasi Terminal Booking System (TBS) yang direpresentasikan dalam bentuk variabel dummy (0 sebelum, 1 sesudah), mempengaruhi nilai indeks kinerja logistik yang menjadi indikator kinerja logistik pelabuhan.

Model ARDL dipilih karena memiliki beberapa keunggulan yang relevan dengan penelitian ini. Pertama, ARDL cocok untuk jumlah data yang terbatas, seperti seri tahunan selama 11 tahun dalam studi ini, tidak seperti VAR atau VECM yang membutuhkan data besar dan stasioner. Kedua, ARDL memungkinkan penggunaan variabel dengan integrasi campuran tanpa perlu transformasi diferensial yang dapat menghilangkan makna ekonomi. Ketiga, model ini mampu mengestimasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang secara simultan, sesuai dengan tujuan penelitian yang ingin melihat efek kebijakan TBS baik langsung maupun akumulatif. Keempat, ARDL fleksibel dalam penentuan lag berbeda untuk setiap variabel, memungkinkan analisis efek kebijakan yang muncul secara bertahap. Dalam bentuk formal, model ARDL yang digunakan dalam

penelitian ini disusun sebagai berikut:

$$\Delta IKL_t = \alpha + \beta_1 \Delta TBS_t + \lambda_1 \Delta IKL_{t-1} + \lambda_2 TBS_{t-1} + \epsilon_t \quad (4)$$

Dalam formulasi ini, perubahan nilai indeks kinerja logistik pada tahun berjalan ΔIKL_t mewakili pertumbuhan efisiensi logistik pelabuhan. Variabel dummy TBS, yang mengalami perubahan dari 0 ke 1 saat sistem diimplementasikan, digunakan untuk menangkap dampak langsung kebijakan tersebut dalam tahun berjalan. Selain itu, dimasukkan pula nilai lag dari TBS dan IKL satu tahun sebelumnya untuk mengukur pengaruh tertunda serta ketergantungan historis terhadap kondisi logistik. Koefisien dari TBS lag λ_2 menunjukkan apakah implementasi sistem tersebut berdampak secara struktural terhadap peningkatan nilai perdagangan, sedangkan lag indeks kinerja logistik λ_1 memperlihatkan bagaimana kondisi tahun sebelumnya memengaruhi tahun berikutnya.

$$\Delta IKL_t = \alpha + \beta_1 \Delta TBS_t + \gamma \cdot ECM_{t-1} + \epsilon_t \quad (5)$$

Jika hasil uji *Bounds Test* menunjukkan adanya hubungan jangka panjang antara variabel, maka model ARDL dapat diturunkan menjadi bentuk dinamis yang dikenal sebagai Error Correction Model (ECM). Model ini menggabungkan dinamika jangka pendek dan proses penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang.

Dalam konteks penelitian ini, ECM menjelaskan bagaimana perubahan kebijakan TBS dalam tahun berjalan memengaruhi pertumbuhan indeks kinerja logistik, sekaligus mempertimbangkan ketidakseimbangan dari tahun sebelumnya yang diukur melalui error correction term. Koefisien dari komponen ini menunjukkan kecepatan sistem logistik untuk kembali ke jalur keseimbangan jangka panjang setelah terjadi gangguan jangka pendek. Jika koefisien tersebut negatif dan signifikan, maka menunjukkan adanya mekanisme penyesuaian yang stabil dalam sistem logistik pelabuhan.

$$\Delta IKL_t = \alpha + \beta_1 \Delta TBS_t + \lambda_1 \Delta IKL_{t-1} + \lambda_1 \Delta IKL_{t-1} \quad (6)$$

Model ARDL yang telah dibentuk digunakan untuk melakukan proyeksi atau forecasting indeks kinerja logistik di masa mendatang (Narayan, 2005). Dengan memanfaatkan hasil estimasi sebelumnya, model mensimulasi bagaimana efisiensi logistik akan berkembang apabila kebijakan TBS terus dipertahankan. Lebih lanjut, model ini bertujuan untuk menguji apakah terdapat perubahan signifikan pada indeks kinerja logistik setelah diterapkannya TBS di pelabuhan. Selain itu, dengan melihat koefisien lag pada TBS, dapat diketahui apakah kebijakan tersebut memberikan pengaruh yang konsisten dan berkelanjutan dalam periode waktu tertentu. Hasil estimasi ARDL ini nantinya juga dapat digunakan untuk mengkalkulasi hubungan jangka panjang (long-run relationship) melalui uji bounds test, dan mendeteksi kestabilan model melalui uji diagnosa residual.

Hasil dan Pembahasan

Variabel Pembentuk Indeks Kinerja Logistik

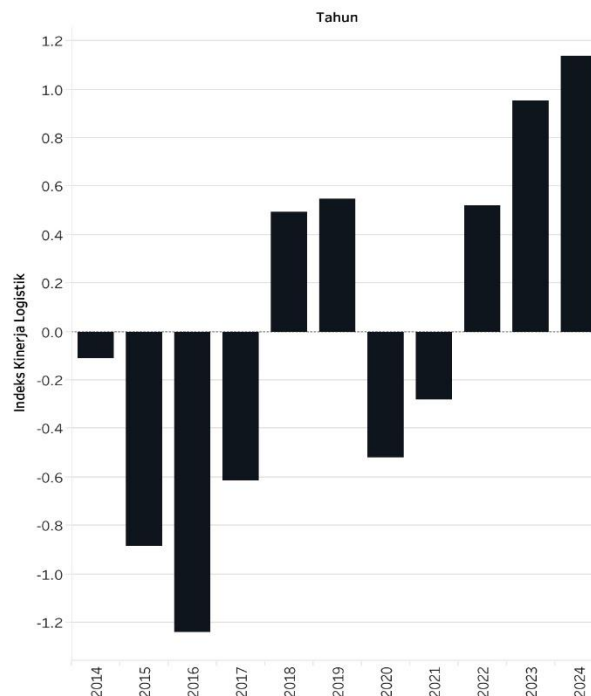
Menurut Hair et al. (2010), standardisasi data menggunakan metode Z-score sangat penting dalam pembentukan indeks komposit, terutama ketika variabel-variabel penyusunnya memiliki skala pengukuran yang berbeda. Dalam konteks penelitian ini,

nilai FOB, CIF, ekspor, dan impor masing-masing dinormalisasi dengan metode Z-score untuk menghindari dominasi satu variabel tertentu akibat perbedaan unit atau besaran. Hasil standardisasi pada Tabel 4 tersebut menunjukkan bahwa nilai ekspor dan impor mulai menunjukkan tren positif sejak tahun 2022, yang terefleksi dalam kenaikan indeks kinerja logistik hasil PCA manual, sejalan dengan implementasi Terminal Booking System (TBS) di Pelabuhan Tanjung Emas.

Tabel 4. Indeks Kinerja Logistik

Tahun	Z FOBCIF	Z NE	Z NI	IKL
2014	-0.456	-1.096	1.224	-0.109
2015	-0.74	-1.255	-0.657	-0.884
2016	-0.845	-1.246	-1.625	-1.239
2017	-0.266	-0.886	-0.696	-0.616
2018	1.145	-0.566	0.898	0.492
2019	1.2	0.302	0.142	0.548
2020	-0.011	0.128	-1.676	-0.52
2021	-1.706	1.073	-0.208	-0.28
2022	-0.814	1.399	0.975	0.52
2023	1.131	0.922	0.804	0.952
2024	1.363	1.224	0.82	1.136

Sumber: Data Diolah (2025)



Gambar 5. Indeks Kinerja Logistik Pelabuhan Tanjung Emas

Sumber: Diolah oleh Penulis (2025)

Statistik Deskriptif

Data pada statistik deskriptif tersebut mencerminkan tren logistik dan ekonomi makro yang cukup stabil dengan variasi pada ekspor, inflasi, dan implementasi TBS. Peneliti mengubah semua variable, kecuali TBS dan DT dari data asli kedalam bentuk logaritmik agar mengurangi tingkat standar deviasi yang ada. Beberapa variabel seperti *dwelling time* (DT) dan PDRB cukup homogen, sedangkan IKL, INF, VE menunjukkan variasi lebih besar yang dapat mempengaruhi hasil regresi atau ARDL sebagaimana yang ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Stastistik Deskriptif

Variabel	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.
IKL	-1,239	1,136	0,006	0,776
TBS	0	1	0,272	0,467
VE	12,616	15,808	14,398	0,932
VI	15,235	15,632	15,354	0,120
IBM	10,546	12,353	12,034	0,508
INF	1,560	8,220	3,290	1,989
PDRB	20,642	21,320	20,990	0,212
PMTB	19,430	20,134	19,821	0,217
DT	0,288	0,403	0,338	0,04

Sumber: Data diolah (2025)

Uji Asumsi Klasik

Analisis terhadap uji asumsi klasik dalam penelitian ini menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan memenuhi sejumlah asumsi penting untuk validitas statistik.

Tabel 6. Uji Multikolineritas, Normalitas, Autokorelasi, dan Heteroskedastisitas

Variabel	VIF
TBS	0,99
VE	4,72
VI	5,22
IBM	2,38
INF	1,93
PDRB	1,53
PMTB	2,05
Normalitas	<i>p-value</i> = 0,671
Autokorelasi	<i>p-value</i> = 0,111
Heteroskedastisitas	<i>p-value</i> = 0,466

Sumber: Data diolah (2025)

Hasil pengujian pada Tabel 6 tersebut menunjukkan bahwa model regresi memenuhi seluruh asumsi klasik. Nilai VIF seluruh variabel independen berada di bawah 10 (0,99–5,22), menandakan tidak terdapat multikolinearitas. Uji normalitas menghasilkan *p-value* 0,671, sedangkan uji autokorelasi dan heteroskedastisitas masing-masing menunjukkan *p-value* 0,111 dan 0,466, seluruhnya di atas 0,05. Dengan demikian, residual berdistribusi normal, bebas autokorelasi, dan memiliki varians konstan. Model regresi dinyatakan valid

serta layak digunakan untuk analisis lanjutan karena menghasilkan estimasi yang tidak bias dan efisien.

Regresi Linear Berganda

Tabel 7. Perhitungan Regresi Linear Berganda

Variabel	P > t	Interpretasi
TBS	0,01	Berpengaruh
VE	0,77	Tidak Berpengaruh
VI	0,02	Berpengaruh
IBM	0,72	Tidak Berpengaruh
INF	0,89	Tidak Berpengaruh
PDRB	0,00	Berpengaruh
PMTB	0,00	Berpengaruh

Sumber: Data diolah (2025)

Pada hasil perhitungan regresi sebagaimana yang ditampilkan dalam Tabel 7, ditemukan bahwa penerapan TBS secara signifikan meningkatkan kinerja logistik Pelabuhan di Pelabuhan Tanjung Emas, Semarang. Sistem ini membantu mengurangi antrian truk, mengoptimalkan waktu bongkar muat, dan mempercepat proses logistik. Temuan ini sesuai dengan penelitian Irawan et al. (2020) yang menunjukkan bahwa digitalisasi sistem logistik seperti TBS berdampak signifikan terhadap efisiensi pelabuhan. Hal tersebut juga sesuai dengan asumsi peneliti sebelumnya terkait akumulasi Z-score pada kenaikan indeks kinerja logistik. Volume ekspor ternyata tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap indeks kinerja logistik (IKL) pada level $\alpha = 0,05$. Hal ini dapat disebabkan oleh stabilnya volume ekspor dari tahun ke tahun atau karena kontribusi ekspor lebih dipengaruhi oleh faktor global daripada infrastruktur domestik. Hasil ini konsisten dengan temuan Dewi dan Nugroho (2019) yang menunjukkan bahwa volume ekspor tidak selalu mencerminkan efisiensi logistik jika tidak diimbangi dengan kapasitas pelabuhan dan pelayanan yang memadai.

Di sisi variabel lainnya, volume impor memiliki pengaruh signifikan terhadap IKL. Impor yang tinggi menandakan meningkatnya aktivitas pelabuhan yang dapat mempercepat atau memperlambat kinerja logistik, tergantung pada manajemen arus barang. Efisiensi logistik seringkali diuji saat terjadi lonjakan impor. Temuan ini sejalan dengan Sari & Budianto (2021) yang menyatakan bahwa volume impor berkorelasi kuat dengan beban logistik di pelabuhan dan memerlukan sistem distribusi yang responsif. Meskipun IBM menggambarkan kepadatan aktivitas pelabuhan, tidak ditemukan pengaruh signifikan terhadap IKL dalam model ini. Ini mungkin terjadi karena variabel ini kurang mencerminkan kualitas pelayanan logistik, seperti kecepatan penanganan atau waktu tinggal barang (*dwelling time*).

Inflasi tidak berpengaruh signifikan terhadap indeks kinerja logistik. Meskipun inflasi dapat meningkatkan biaya logistik (seperti bahan bakar atau upah buruh), efeknya dalam konteks model ini tampaknya tidak cukup kuat atau bersifat tidak langsung. Ini konsisten dengan studi Putri & Handayani (2022) yang menyebutkan bahwa variabel makroekonomi seperti inflasi hanya berdampak tidak langsung terhadap efisiensi logistik, dan lebih banyak memengaruhi sektor lain seperti konsumsi rumah tangga. Berbeda

dengan variabel inflasi, PDRB yang signifikan menunjukkan bahwa daerah dengan pertumbuhan ekonomi tinggi cenderung memiliki sistem logistik yang lebih efisien. Peningkatan aktivitas ekonomi mendorong perbaikan infrastruktur, pelayanan, dan konektivitas logistik. Hal ini diperkuat oleh temuan Yuliana (2019) yang menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi regional berdampak langsung pada peningkatan investasi logistik dan kemudahan distribusi barang.

PMTB berpengaruh signifikan karena menggambarkan investasi infrastruktur dan alat pendukung logistik. Investasi ini berkontribusi langsung terhadap kecepatan layanan dan kapasitas pelabuhan. Sesuai dengan Rahmawati dan Syafrudin (2021) yang menunjukkan bahwa peningkatan PMTB dalam sektor transportasi dan pergudangan memperbaiki efisiensi rantai pasok dan logistik nasional. Dengan demikian, hanya PDRB dan PMTB sebagai variabel makroekonomi yang memiliki pengaruh terhadap indeks kinerja logistik di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

Regresi Moderasi Variabel

Tujuan dari analisis moderasi ini adalah untuk menggali dan memahami secara lebih mendalam bagaimana Terminal Booking System (TBS) berpengaruh terhadap Indeks Kinerja Logistik (IKL) dalam konteks pelabuhan di Indonesia, serta untuk menilai apakah *Dwelling Time* (DT) turut memengaruhi hubungan tersebut. Dengan memosisikan DT sebagai variabel moderator, penelitian ini berupaya mengidentifikasi apakah perubahan dalam durasi waktu tunggu barang di pelabuhan mampu memperkuat atau justru melemahkan efektivitas implementasi TBS terhadap peningkatan kinerja logistik.

Tabel 8. Regresi Moderasi

Variabel	Koefisien	p-value	Interpretasi
TBS	11,42	0,331	Tidak Signifikan
DT	5,72	0,338	Tidak Signifikan
TBS DT	-33,29	0,392	Tidak Signifikan

Sumber: Data diolah (2025)

Dalam upaya menguji apakah *Dwelling Time* (DT) berperan sebagai variabel moderator dalam hubungan antara *Terminal Booking System* (TBS) dan *Indeks Kinerja Logistik* (IKL), digunakan model regresi moderasi dengan memasukkan variabel interaksi antara TBS dan DT (TBS_DT). Hasil estimasi pada Tabel 8 menunjukkan bahwa koefisien interaksi tbs_dt bernilai negatif sebesar -33,29, namun tidak signifikan secara statistik dengan nilai p-value sebesar 0,392 ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun secara matematis terjadi penurunan pengaruh TBS terhadap IKL seiring peningkatan *dwelling time* maupun sebaliknya, efek tersebut tidak cukup kuat untuk dikatakan bermakna secara statistik dalam sampel yang digunakan. Artinya, dalam konteks penelitian ini, *Dwelling Time* tidak terbukti secara signifikan memoderasi hubungan antara Terminal Booking System dan kinerja logistik nasional. Dengan demikian, peningkatan atau penurunan waktu tunggu barang di pelabuhan (*dwelling time*) tidak secara signifikan memperkuat atau memperlemah pengaruh implementasi sistem pemesanan terminal terhadap indeks kinerja logistik.

Hasil ini sejalan dengan temuan dari Simatupang dan Sridharan (2005), yang menyatakan bahwa sistem logistik yang berbasis teknologi hanya akan efektif jika didukung oleh kesiapan sistem pelabuhan dan efisiensi operasional lainnya, termasuk birokrasi kepelabuhanan. Dengan kata lain, penerapan TBS tidak serta-merta akan meningkatkan kinerja logistik bila faktor-faktor pendukung seperti *dwelling time* tidak mengalami perbaikan sistemik. Di sisi lain, penelitian oleh Susantono (2012) menyatakan bahwa *dwelling time* merupakan salah satu indikator utama efisiensi logistik di pelabuhan. Namun, penelitian tersebut menekankan bahwa *dwelling time* lebih berperan sebagai indikator output sistem logistik, bukan sebagai faktor penguat (moderator) dari sistem berbasis teknologi seperti TBS. Hal ini mendukung temuan dalam studi ini bahwa meskipun DT memiliki peran penting, ia tidak secara langsung memoderasi hubungan antara TBS dan kinerja logistik.

Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan bahwa *dwelling time* tidak berfungsi sebagai moderator yang signifikan dalam memperkuat atau memperlemah pengaruh Terminal Booking System (TBS) terhadap Indeks Kinerja Logistik (IKL). Ini mengindikasikan bahwa peningkatan kinerja logistik melalui TBS memerlukan pendekatan sistemik yang tidak hanya bergantung pada faktor waktu tunggu, tetapi juga pada efisiensi prosedural, koordinasi antarlembaga, serta kapabilitas teknis lainnya di pelabuhan.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis regresi linear berganda maupun regresi moderasi, dapat disimpulkan bahwa Terminal Booking System (TBS) memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan Indeks Kinerja Logistik (IKL) di Pelabuhan Tanjung Emas. Namun, dalam pengujian moderasi, *Dwelling Time* (DT) tidak terbukti memoderasi hubungan antara TBS dan IKL secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi logistik tidak semata-mata ditentukan oleh waktu tinggal barang di pelabuhan, melainkan dipengaruhi oleh kombinasi faktor sistemik lainnya, termasuk investasi infrastruktur (PMTB), pertumbuhan ekonomi wilayah (PDRB), dan kualitas implementasi digitalisasi logistik.

Model ARDL dan Pengujian Bound Test

Hasil estimasi menunjukkan bahwa model ARDL signifikan secara keseluruhan, ditunjukkan oleh nilai F-statistic = 13,67 ($p < 0,01$). Uji Bounds Test yang digunakan untuk menguji kointegrasi memperlihatkan bahwa nilai F-statistic tersebut lebih tinggi dibandingkan nilai upper bound pada tingkat signifikansi 5%, yaitu 3,79 (Pesaran et al., 2001). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan jangka panjang yang signifikan antara variabel independen (TBS, PDRB, PMTB, volume ekspor, dan volume impor) dengan IKL.

Dalam horizon jangka pendek, implementasi TBS berpengaruh positif signifikan terhadap IKL, menunjukkan bahwa digitalisasi melalui sistem pemesanan slot kendaraan mampu memperbaiki efisiensi distribusi sejak tahun pertama penerapannya. Pada jangka panjang, TBS tetap berkontribusi positif, memperkuat peran transformasi digital sebagai instrumen strategis dalam menekan biaya logistik dan meningkatkan keandalan sistem pelabuhan.

Selain TBS, PDRB dan PMTB berpengaruh signifikan dalam jangka panjang, yang

menegaskan bahwa pertumbuhan ekonomi wilayah serta investasi fisik dalam infrastruktur pelabuhan berperan penting dalam memperkuat efisiensi logistik. Sebaliknya, variabel ekspor tidak signifikan, mengindikasikan bahwa peningkatan ekspor lebih ditentukan oleh dinamika global ketimbang kesiapan infrastruktur domestik. Sementara itu, *dwelling time* tidak berperan sebagai moderator signifikan, baik dalam model regresi moderasi maupun ARDL. Hal ini memperlihatkan bahwa pengurangan waktu tunggu tidak cukup untuk memperkuat efek digitalisasi apabila tidak disertai dengan integrasi sistem logistik dan koordinasi antar lembaga.

Dengan nilai R^2 sebesar 0,982, model mampu menjelaskan sekitar 98,2% variasi dalam IKL, sementara uji diagnostik menunjukkan tidak adanya autokorelasi serius (Durbin-Watson = 1,92). Oleh karena itu, model ARDL yang digunakan dapat dinyatakan valid dan reliabel. Secara keseluruhan, hasil ARDL dan pengujian Bounds Test pada tingkat signifikansi 5% menegaskan bahwa penerapan Terminal Booking System (TBS) bersama faktor pertumbuhan ekonomi (PDRB) dan investasi (PMTB) berperan sebagai determinan utama efisiensi logistik jangka panjang di Pelabuhan Tanjung Emas.

Rekomendasi Kebijakan

Keberhasilan transformasi digital di Pelabuhan Tanjung Emas bergantung pada tingkat integrasi dan kualitas sistem informasi logistik yang digunakan. Kondisi saat ini menunjukkan bahwa Terminal Booking System (TBS) belum terhubung secara menyeluruh dengan sistem kepelabuhanan lainnya seperti bea cukai, pelacakan kontainer, serta jadwal kapal. Ketidakterpaduan tersebut menghambat optimalisasi manfaat digitalisasi, termasuk efisiensi arus distribusi dan penurunan waktu tunggu. Temuan empiris dikaitkan dengan teori *smart port* dan logistics performance theory, di mana digitalisasi meningkatkan koordinasi, menurunkan ketidakpastian, dan mengurangi biaya transaksi. Pengaruh signifikan TBS mendukung argumen Notteboom dan Rodrigue (2020) bahwa sistem berbasis appointment logistics memperbaiki kinerja pelabuhan secara struktural.

Oleh karena itu, penerapan integrasi penuh TBS dengan sistem manifest barang, pelacakan kontainer, dan clearance dokumen perlu menjadi kebijakan strategis untuk mewujudkan sinkronisasi proses logistik secara menyeluruh. Pengembangan platform logistik terpadu berbasis single window diperlukan agar seluruh data operasional dapat diakses secara real-time oleh seluruh pemangku kepentingan. Integrasi data ini tidak hanya meningkatkan efisiensi koordinasi, tetapi juga memperkuat transparansi dan akuntabilitas sistem logistik pelabuhan. Penerapan teknologi otomatis seperti Automated Guided Vehicles (AGV) direkomendasikan sebagai upaya peningkatan produktivitas dan pengurangan kepadatan arus barang. Untuk mendukung hal tersebut, pelabuhan perlu membentuk tim integrasi digital antarinstitusi, menyelenggarakan pelatihan teknis berkelanjutan, serta mengembangkan dashboard logistik real-time dan sistem analisis big data untuk pemantauan kinerja secara komprehensif. Langkah-langkah ini diharapkan mampu mempercepat terciptanya ekosistem *smart port* yang efisien, adaptif, dan berdaya saing tinggi di tingkat nasional.

Kesimpulan

Penelitian ini menegaskan bahwa transformasi digital melalui implementasi Terminal Booking System (TBS) di Pelabuhan Tanjung Emas berpengaruh signifikan terhadap peningkatan efisiensi logistik, sebagaimana tercermin dalam kenaikan Indeks Kinerja Logistik (IKL). Sistem TBS terbukti mampu mengurangi antrean kendaraan dan mempercepat arus distribusi, meskipun penerapannya masih terbatas dan belum sepenuhnya terintegrasi dengan sistem digital lain. Efisiensi logistik juga dipengaruhi oleh faktor makroekonomi, khususnya PDRB dan PMTB, yang menunjukkan peran penting pertumbuhan ekonomi dan investasi infrastruktur terhadap kinerja distribusi barang. Sementara itu, *dwelling time* tidak terbukti memoderasi hubungan antara TBS dan efisiensi logistik, menandakan bahwa perbaikan waktu tunggu perlu diiringi reformasi manajerial dan integrasi sistem pelabuhan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa digitalisasi pelabuhan yang komprehensif dan terintegrasi merupakan prasyarat utama menuju *smart port* yang efisien dan berdaya saing.

Untuk meningkatkan efisiensi logistik secara berkelanjutan, diperlukan integrasi penuh Terminal Booking System (TBS) dengan seluruh subsistem pelabuhan, termasuk bea cukai dan sistem pelacakan kontainer. Pengembangan platform logistik terpadu berbasis single window akan mempercepat koordinasi antarlembaga, sementara penerapan Automated Guided Vehicles (AGV) dapat mengurangi antrean dan meningkatkan produktivitas operasional. Pemerintah juga perlu mendorong insentif bagi pelaku logistik digital, menerapkan tarif dinamis berbasis waktu operasional, serta membangun dashboard logistik real-time untuk pengawasan berbasis data. Sinergi kebijakan, infrastruktur, dan teknologi tersebut menjadi kunci percepatan transformasi menuju *smart port* yang efisien dan berdaya saing tinggi.

Referensi

- Acciaro, M., Ghiara, H., & Cusano, M. I. (2014). Energy management in seaports: A new role for port authorities. *Energy Policy*, 71, 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.013>
- Badan Pusat Statistik Jawa Tengah. (2023). *PDRB Provinsi Jawa Tengah atas dasar harga berlaku 2018–2023*. BPS Provinsi Jawa Tengah.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik perdagangan luar negeri Provinsi Jawa Tengah 2023*. Badan Pusat Statistik.
- Christopher, M. (2011). *Logistics & supply chain management* (4th ed.). Pearson Education.
- Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (2021). *CSCMP supply chain management definitions and glossary*. CSCMP.
- Dewi, R., & Nugroho, M. (2019). Analisis pengaruh ekspor terhadap efisiensi logistik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan*, 11(1), 56–65.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Pearson Education.
- Indonesia National Single Window Agency. (2021). *Annual report sistem logistik dan kepelabuhanan nasional 2021*. INSW Agency.

- Irawan, B., Santoso, D., & Wibowo, H. (2020). Digitalisasi sistem logistik dan pengaruhnya terhadap efisiensi pelabuhan. *Jurnal Logistik Nasional*, 5(2), 87–95.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (2020). *Master plan on the development of port infrastructure in Central Java*. JICA.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/b98835>
- Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. (2024). *Ekspor dan impor nonmigas menurut pelabuhan muat dan pelabuhan bongkar utama tahun 2023*. Kementerian Perdagangan RI.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2022). *Laporan kinerja sistem logistik pelabuhan Indonesia tahun 2022*. Kementerian Perhubungan RI.
- Lam, J. S. L., & Notteboom, T. (2014). The greening of ports: A comparison of port management tools used by leading ports in Asia and Europe. *Transport Reviews*, 34(2), 169–189. <https://doi.org/10.1080/01441647.2014.891162>
- Narayan, P. K. (2005). The saving and investment nexus for China: Evidence from cointegration tests. *Applied Economics*, 37(17), 1979–1990. <https://doi.org/10.1080/00036840500278103>
- Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2020). *Port economics, management and policy*. Routledge.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). *Transport infrastructure investment and maintenance spending*. OECD Publishing.
- Pan, S., Ballot, E., & Fontane, F. (2019). Appointment-based truck scheduling at container terminals: A literature review. *European Transport Research Review*, 11(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s12544-018-0341-5>
- Pelindo III. (2020). *Laporan tahunan Pelabuhan Tanjung Emas 2020*. PT Pelindo III.
- Port of Rotterdam Authority. (2023). *Annual report 2022*. Port of Rotterdam Authority.
- Putri, M. D., & Handayani, L. (2022). Inflasi dan efisiensi logistik: Pendekatan VAR. *Jurnal Ekonomi Makro*, 8(1), 33–47.
- Rahmawati, T., & Syafrudin, M. (2021). Investasi modal tetap dan peningkatan kinerja logistik nasional. *Journal of Infrastructure & Development*, 10(1), 20–32.
- Rodrigue, J.-P., & Notteboom, T. (2015). Looking inside the box: Evidence from the containerization of commodities and the cold chain. *Maritime Policy & Management*, 42(3), 207–227.
- Sari, T., & Budianto, A. (2021). Volume impor dan tekanan logistik pelabuhan: Studi kasus pelabuhan utama Indonesia. *Journal of Supply Chain Studies*, 9(3), 112–123.
- Simatupang, T. M., & Sridharan, R. (2005). An integrative framework for supply chain collaboration. *The International Journal of Logistics Management*, 16(2), 257–274. <https://doi.org/10.1108/09574090510634548>
- Susantono, B. (2012). *Indonesia's port development and logistics strategy: Reducing dwelling time at ports*. Ministry of Transportation, Republic of Indonesia.
- Syafrizal, D., Nurillah, E., & Sari, R. P. (2021). Evaluasi kinerja pelayanan Pelabuhan Tanjung Emas terhadap efektivitas rantai pasok logistik di Jawa Tengah. *Jurnal Transportasi dan Logistik*, 5(2), 120–132.
- Tiwari, P., Hui, E. C. M., & Chung, W. (2003). Port efficiency and container traffic: Some empirical evidence from major ports in Asia. *Transport Policy*, 10(3), 249–260.

[https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(03\)00025-4](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(03)00025-4)

- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2023). *Review of maritime transport 2023*. UNCTAD.
- World Bank. (2018). *Logistics performance index 2018*. World Bank.
- Woo, S. H., Pettit, S. J., & Beresford, A. K. C. (2011). Port evolution and performance in changing logistics environments. *Maritime Economics & Logistics*, 13(3), 250–277. <https://doi.org/10.1057/mel.2011.7>
- Yeo, G. T., Roe, M., & Dinwoodie, J. (2008). Evaluating the competitiveness of container ports in Korea and China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(6), 910–921.
- Yuliana, D. (2019). PDRB dan efisiensi logistik wilayah: Bukti empiris dari data panel kabupaten/kota. *Jurnal Pembangunan Daerah*, 6(4), 78–89.